

## 埋込磁石型磁気ギヤの高性能化に関する研究

著者	水穴 裕真
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	250-251
発行年	2020-08-31
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00129092">http://hdl.handle.net/10097/00129092</a>

修士学位論文要約（令和2年3月）

## 埋込磁石型磁気ギヤの高性能化に関する研究

水穴 裕真

指導教員：中村 健二

## A Study of Performance Improvement of Interior Permanent Magnet Magnetic Gear

Yuma MIZUANA

Supervisor: Kenji NAKAMURA

Magnetic gears have several advantages over the mechanical gears, such as low noise and low vibration, maintenance-free, because of no mechanical contact. In particular, a flux-modulated type magnetic gear, which has higher torque density than the other types, is expected to be put into practical use. For the practical use, further improvement of torque and reduction of losses are necessary. The aim of this paper is performance improvement of interior permanent magnet (IPM) magnetic gear. First, some analyses on performance improvement of IPM magnetic gear based on finite element method (FEM) are presented. Next, the prototype IPM magnetic gears are tested.

## 1. はじめに

磁気ギヤは非接触で動力伝達可能であるため、振動・騒音が小さく、また、潤滑油系統が不要であり、保守性の向上が期待できる。中でも、磁束変調型磁気ギヤは、内外回転子磁石すべてがトルク伝達に寄与するため、他種の磁気ギヤに比べてトルク密度や効率が高く<sup>1)</sup>、実用化が期待されている。

磁束変調型磁気ギヤは原理上、非同期の高調波磁束に由来する磁石渦電流損が生じることが知られている。先行研究<sup>2)</sup>では、磁石渦電流損を低減するため、磁石を鉄心内部に埋め込んだ埋込磁石型 (IPM) 磁気ギヤが提案されている。しかしながら、磁気ギヤの IPM 化に伴い、有効磁束の減少によるトルクの低下が懸念される。また、解析による評価のみであり、実機での検証は行われていない。

本研究では、IPM 磁気ギヤの高性能化に関して、有限要素法 (FEM) による解析と実証実験を行った。

## 2. IPM 磁気ギヤの性能向上に関する検討

図1に、従来構造の IPM 磁気ギヤの諸元を示す。内外回転子の極対数はそれぞれ3と31であり、極対数の比からギヤ比は10.33となる。磁気ギヤの直径は150 mm、軸長は25 mmである。ポールピースおよび回転子鉄心の材質はそれぞれ圧粉磁心 (SMC) と無方向性ケイ素鋼板 (35A250) であり、磁石材料はネオジム焼結磁石 (Nd-Fe-B) である。内外回転子磁石を同極対向させてスポーク状に埋め込み、幅1 mmの磁気ブリッジをギャップ側に設けた構造となっている。また、磁石磁束の短絡を防止するため、バックヨークには非磁性のステンレスを用いている。

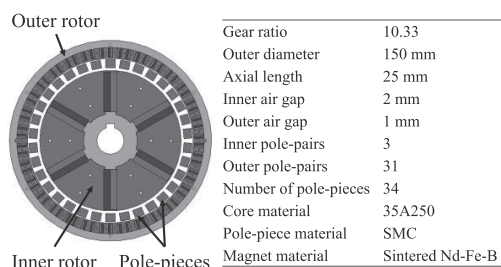


図1 従来構造の IPM 磁気ギヤの諸元

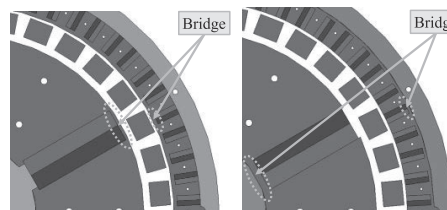


図2 磁気ブリッジ位置の変更

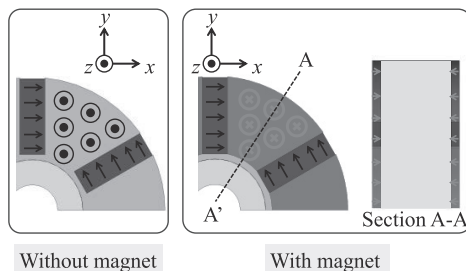


図3 軸方向の漏れ磁束の低減策

さらなる高性能化を目指して、図1のIPM磁気ギヤに対して、3つの性能向上策を導入した。まず、図2に示すように、磁気ブリッジ位置をギャップ側から非磁性ヨーク側に変更することで、有効磁束を増加させた。次いで、図3に示すように、内側回転子鉄心の側面に磁石を貼り付けることで、軸方向の漏れ磁束を低減させた。最後に、軟磁性材料の中でも鉄損が小さいアモルファス合金を回転子鉄心およびポールピースに適用することで、鉄損を低減させた。上記の性能向上策を組み合わせて、図1に示した従来構造のIPM磁気ギヤと比べて、最大トルクは計算上、約42%向上した。

### 3. IPM 磁気ギヤの試作試験

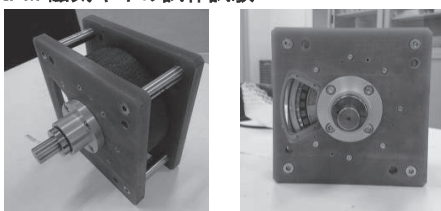


図4 試作したIPM磁気ギヤの外観

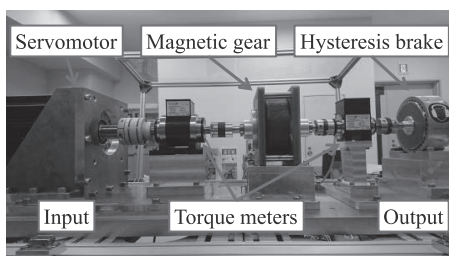


図5 実験システムの構成

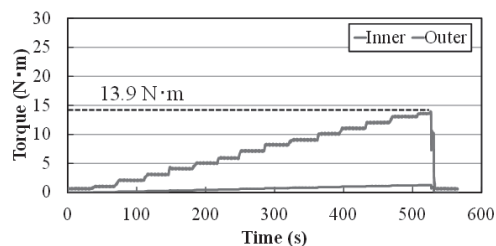
図4に、試作したIPM磁気ギヤの外観を示す。磁気ギヤは計7台試作した。なお、外側非磁性ヨークおよび支持部材には、軽量かつ高強度であり、優れた電気特性を有する繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastic: FRP)を用いた。

図5に、実験システム構成を示す。入力側には、サーボモータを接続し、磁気ギヤを任意の速度で回転させる。出力側には、ヒステリシスブレーキを接続し、所望の負荷トルクを印加する。入出力軸には、それぞれトルクメータを接続し、内外回転数および入出力トルクを測定する。入力側を低速・大トルクの外側回転子，出力側を高速・低トルクの内側回転子とし、磁気ギヤを増速動作させて実験を行った。

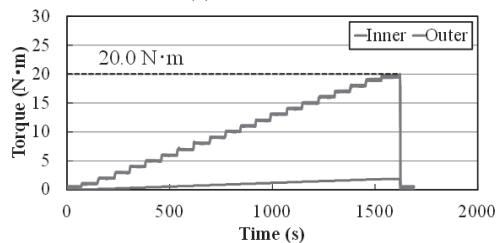
図6に、内側回転子の回転数を300 rpmで一定としたまま、印加する負荷を徐々に増やしたときの、内外回転子のトルクの時間変化を示す。なお、試作機1が図1に示した従来のIPM磁気ギヤ，試作機7が3つの性能向上策すべてを導入したIPM磁気ギヤである。同図を見ると、外側回転子の最大トルクは、試

作機1が13.9 N・mであるのに対し、試作機7は20.0 N・mであり、トルク性能が約44%向上していることがわかる。

図7に、効率の測定結果を示す。なお、内側回転子の回転数は100 rpmで一定とした。同図を見ると、従来のIPM磁気ギヤである試作機1に比べて、すべての性能向上策を導入した試作機7の方が高効率であることがわかる。また、試作機7の最大効率は99.85%に達した。



(a) 試作機1



(b) 試作機2

図6 トルクの時間変化(内側回転子:300 rpm)

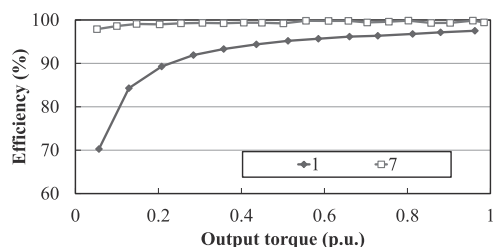


図7 効率の測定結果(内側回転子:100 rpm)

### 4. まとめ

本研究では、IPM磁気ギヤの高性能化を目的として、FEMによる解析と試作機を用いた実証実験を行った。その結果、最大トルクは20.0 N・mとなり、従来構造のIPM磁気ギヤに対して約44%向上した。また、最大効率は99.85%を達成した。

### 文献

- 1) K. Atallah and D. Howe, *IEEE Trans. Magn.*, **37**, 2844 (2001)
- 2) T. Ikeda, K. Nakamura, and O. Ichinokura, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **33**, 130 (2009)